Министерство Образования и Науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
„Санкт-Петербургский Государственный университет
Аэрокосмического приборостроения"

КАФЕДРА №3

Отчет
Защищен с оценкой отл
Преподаватель:

07.03.2018

доц. к.ф-м. наук, доц
должность, уч.ст, зва

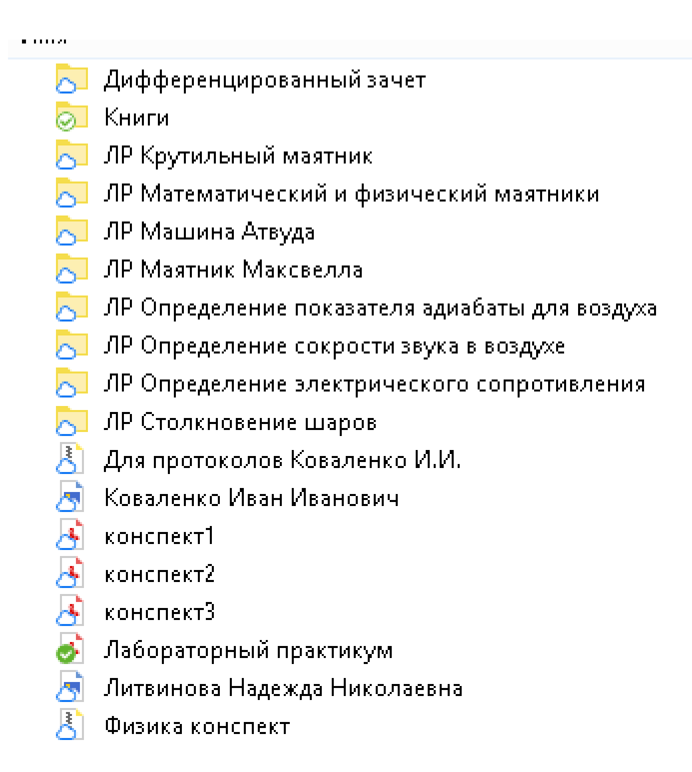
подпись, дата

А.Н. Хоходилов
инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе №2
Машина Атвуда.
По курсу: Общая Физика

Работу выполнил
Студент группы 1742 06.03.18 Парнюк И.А.

Санкт-Петербург
2018



СКАЧАТЬ https://yadi.sk/d/RqO8HPxTfh0z_w
СКАЧАТЬ https://archive.org/details/@guap4736_vkclub152685050



Лабораторная работа №2.
Машина Атвуда
Протокол измерений.

Студент группы №1742 Парнюк И.А.

Преподаватель Холодилов А.Н.

Параметры приборов.

Прибор	Тип	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Линейка	–	50см	1мм	–	2мм
Секундомер	–	100сек	1мс	–	1мс

$m_{груза} = 60$гр, $m = 10$гр

Результаты измерений.

1. $S_1 = 19$см; $S_2 = 14$см.

t,с	0,380	0,420	0,342	0,395	0,382

2. $S_1 = 09$см

S_2,см	14	12	10	8	6
t,с	0,539	0,441	0,316	0,289	0,220

3. $S_2 = 14$см

S_1,см	9	11	13	15	17
t,с	0,625	0,468	0,446	0,404	0,309

28.02.18

28.02.18

1. Цель работы:

– Исследование равномерного и равноускоренного прямолинейного движения.

2. Описание лабораторной установки.

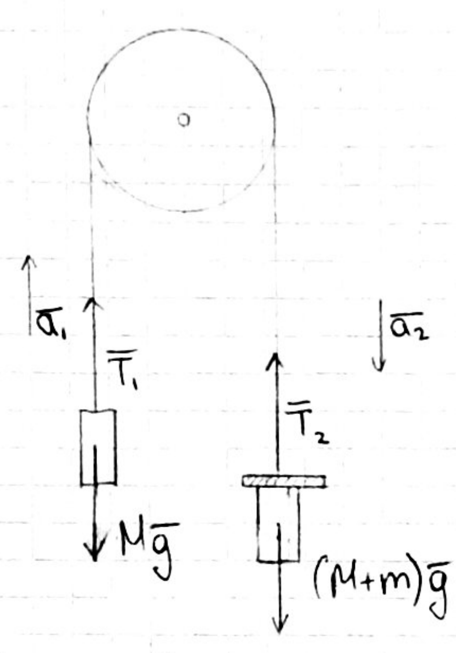


Рис. 1. Система грузов на блоке

Параметры установки.

Прибор	Тип	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Линейка	—	50 см	1 мм	—	2 мм
Секундомер	—	100 сек	1 мс	—	1 мс

3. Рабочие формулы.

Вычисление скорости точки в момент времени:

$$\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt} \qquad (1)$$

$\bar{v}$ – скорость точки

t – момент времени

$\bar{r}$ – радиус-вектор

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} \qquad (2)$$

$\bar{a}$ – ускорение материальной точки

Определение скорости материальной точки в любой момент времени:

$$\bar{v} = \bar{v}_0 + \int_0^t \bar{a}(t)dt \qquad (3)$$

$$\Delta\bar{r} = \int_0^t \bar{v}(t)dt \qquad (4)$$

$$v = at \qquad (5)$$

$$S = 0{,}5at^2 \qquad (6)$$

S – пройденный путь

$$v = \sqrt{2aS} \qquad (7)$$

Определение ускорения грузов:

$$a = \frac{S_2^2}{2S_1t_2^2} \qquad (8)$$

Второй закон Ньютона для системы двух тел:

$$\begin{cases} M\bar{a}_1 = \bar{T}_1 + M\bar{g} \\ -(M+m)\bar{a}_2 = \bar{T}_2 + (M+m)\bar{g}. \end{cases} \qquad (9)$$

Ускорение системы грузов:

$$a = \frac{mg}{2M+m}$$

Подставим в выражение (7):

$$v = \sqrt{\frac{mgS_1}{2M+m}} \qquad (10)$$

M, m – массы тел.

4. Результаты измерений и вычислений:

Задание 1.

$S_1 = 19$ см, $S_2 = 14$ см

таблица 1

t, с	0,380	0,420	0,342	0,395	0,382

Задание 2.

$S_1 = 9$ см

таблица 2

S_2, см	14	12	10	8	6
t, с	0,539	0,441	0,316	0,289	0,220

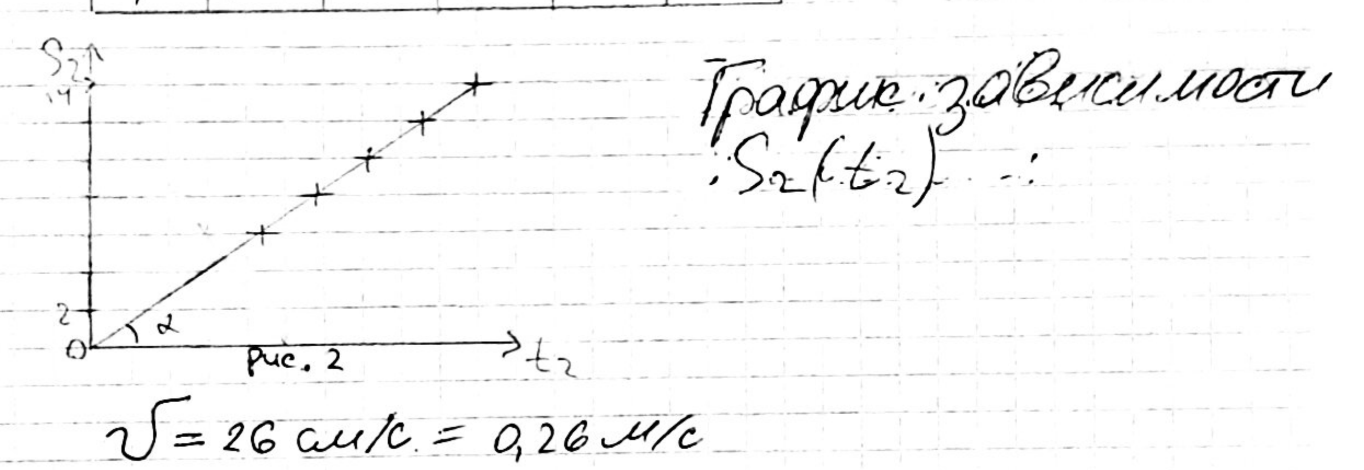


рис. 2

$v = 26$ см/с $= 0,26$ м/с

Задание 3.

таблица 3

$S_2=14$ см					
S_1, см	9	11	13	15	17
t, с	0,625	0,468	0,446	0,404	0,309

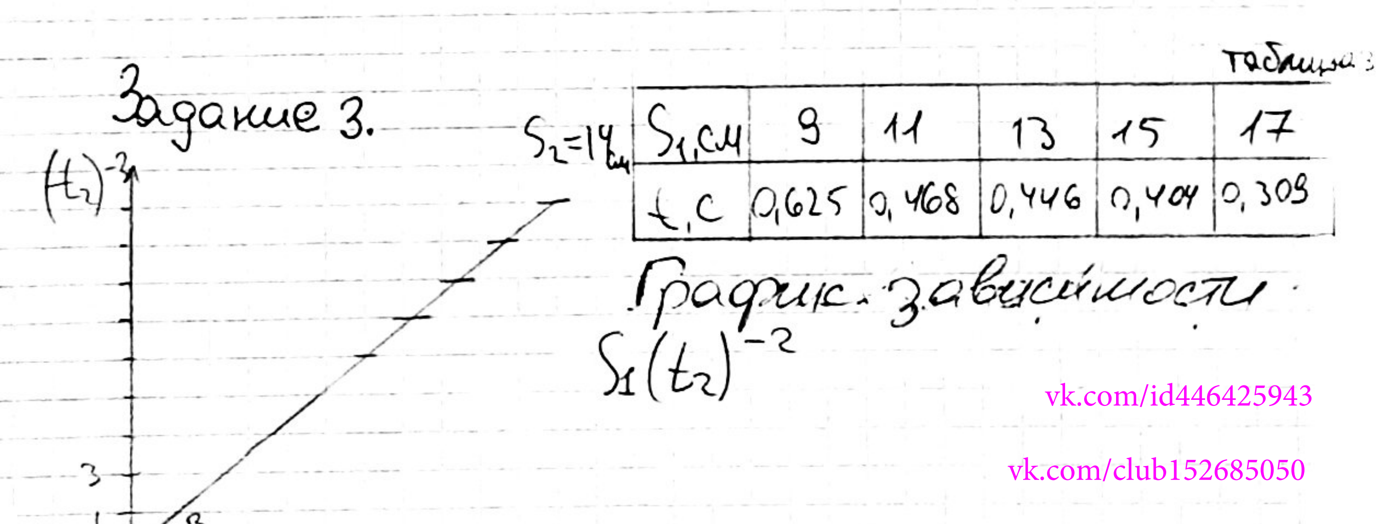


рис. 3

Задание 4.

$a = 37,47$ см/с^2 $= 0,37$ м/с^2

Задание 5.

$v = 25,97$ см/с $= 0,25$ м/с

5. Примеры вычислений.

по формуле (11) $v = \sqrt{\frac{mgS_1}{2M+m}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 9 \cdot 9,8}{2 \cdot 60 + 10}} = 26$ см/с $= 0,26$ м/с

по формуле $v = \frac{S_2}{t_2} = \frac{14}{0,539} = 25,97$ см/с $= 0,26$ м/с

по формуле (8)

$$a = \frac{S_2^2}{2S_1 t_2^2} = \frac{14^2}{2 \cdot 9 \cdot 0,539^2} = 37,47 \text{ см/с}^2 = 0,37 \text{ м/с}^2$$

6. Вычисление погрешностей.

6.1. Вывод формулы систематич. погрешности

$$\Theta_t = \left|\frac{\partial t}{\partial x_1}\right| \cdot Q_{x_1} + \left|\frac{\partial t}{\partial x_2}\right| Q_{x_2} + .$$

Табл.1

$$\Theta_{v_1} = 0,26\left(\frac{0,002}{0,14} + \frac{0,001}{0,539}\right) = 0,01 \frac{м}{с}$$

$$\Theta_{v_5} = 0,27\left(\frac{0,002}{0,06} + \frac{0,001}{0,22}\right) = 0,1 \frac{м}{с}$$

$$a_1 = 0,37\left(\frac{0,002}{0,09} + \frac{2 \cdot 0,02}{0,14} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,539}\right) = 0,19 \frac{м}{с^2}$$

Табл.2

$$\Theta_{v_1} = 0,55\left(\frac{0,002}{0,17} + \frac{0,001}{0,309}\right) = 0,01 \frac{м}{с}$$

$$\Theta_{v_5} = 0,14\left(\frac{0,002}{0,14} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,17} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,309}\right) = 0,4 \frac{м}{с^2}$$

6.2. Вывод формулы случайной погрешности.

$$v_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{N}; \quad a_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{N}$$

Табл. 1

$$v_{ср} = \frac{0,26 + 0,27 + 0,31 + 0,28 + 0,27}{5} = 0,28 \frac{м}{с}$$

$$a_{ср} = \frac{0,37 + 0,41 + 0,56 + 0,43 + 0,41}{5} = 0,44 \frac{м}{с^2}$$

Табл. 2.

$$v_{ср} = \frac{0,14 + 0,27 + 0,29 + 0,37 + 0,55}{5} = 0,32 \frac{м}{с}$$

$$a_{ср} = \frac{0,07 + 0,26 + 0,3 + 0,49 + 1,08}{5} = 0,44$$

6.3. Вывод формулы средней квадратичной погрешности

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(v_i - v_{cp})^2}{N-1}} ; \quad S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(a_i - a_{cp})^2}{N-1}}$$

Таблица 1.

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,26-0,28)^2 + \ldots + (0,27-0,27)^2}{4}} = 0,02 \ \frac{м}{с}$$

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,37-0,44)^2 + \ldots + (0,41-0,44)^2}{4}} = 0,07 \ \frac{м}{с^2}$$

Табл 2

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,14-0,32)^2 + \ldots + (0,55-0,32)^2}{4}} = 0,15 \ м/с$$

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,07-0,44)^2 + \ldots + (1,08-0,44)^2}{4}} = 0,39 \ м/с^2$$

6.4. Среднее квадратичное отклонение

$$S_{v cp} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} ; \quad S_{a cp} = \frac{S_a}{\sqrt{N}}$$

Табл 1.

$$S_{v cp} = \frac{0,02}{2,23} = 0,01 \ м/с \qquad S_{v cp} \leq \Theta_{v cp}$$

$$S_{a cp} = \frac{0,39}{2,23} = 0,17 \ м/с^2$$

6.5. Полная погрешность

$$\Delta S_v = \Theta_v + v_{cp} ; \quad \Delta S_a = \Theta_n + a_{cp}$$

7. Вывод:

- Проведено исследование равномерного и равноускоренного движения. Экспериментально были определены скорость и ускорение тела, которые оказались близки к теоретическим расчетам, что говорит о справедливости законов кинематики и механики.

  $a = 0,37 \ м/с^2$

  $v = 0,26 \ м/с$

- На рис 2. показано, что движение является равномерным.
- На рис 3. показано, что движение явл. равноускор.

Лабораторная работа № 2

МАШИНА АТВУДА

Цель работы: исследование равномерного и равноускоренного прямолинейного движения.

Теоретические сведения

Положение материальной точки в произвольный момент времени t однозначно задается при помощи радиуса-вектора $\vec{r}$, соединяющего начало координат с движущейся точкой. Скорость $\vec{\upsilon}$ точки в момент времени t равна производной по времени от радиус-вектора:

$$\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \qquad (2.1)$$

Ускорение материальной точки $\vec{a}$ определяется как производная по времени от скорости:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}. \qquad (2.2)$$

Если известен закон, по которому изменяется ускорение $\vec{a}(t)$, и задана скорость материальной точки в начальный момент времени, то можно найти скорость материальной точки в любой момент времени t:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \int_0^t \vec{a}(t)dt. \qquad (2.3)$$

Перемещение $\Delta\vec{r}$ материальной точки к моменту времени t можно найти, если известен закон, по которому изменяется скорость $\vec{\upsilon}(t)$:

$$\Delta\vec{r} = \int_0^t \vec{\upsilon}(t)dt. \qquad (2.4)$$

Из написанных формул можно получить формулы для скоростей и перемещений в ряде конкретных случаев. Остановимся на одном из них, на случае прямолинейного равноускоренного дви-

жения с нулевой начальной скоростью вдоль вертикальной оси. В этом случае формулы (2.3) и (2.4) могут быть переписаны в виде:

$$\upsilon = at, \tag{2.5}$$

$$S = 0{,}5at^2. \tag{2.6}$$

Скорость, которую приобретет тело, прошедшее путь S с ускорением a и нулевой начальной скоростью, можно найти по формуле:

$$\upsilon = \sqrt{2aS}. \tag{2.7}$$

Рассмотрим систему из двух одинаковых грузов массой M каждый (рис. 2.1). Грузы соединены нерастяжимой, невесомой нитью, перекинутой через блок. Массой блока и трением при его вращении пренебрежем. К одному из грузов добавим малую массу m. Система грузов начнет движение с ускорением. Если же в некоторый момент времени t_1 дополнительный груз m отделится от системы, то движение грузов станет равномерным со скоростью

$$\upsilon = \sqrt{2aS_1}, \tag{ 2.7a}$$

где S_1 – путь пройденный телами за время t_1 равноускоренного движения.

За время t_2 равномерного движения грузы переместятся на расстояние

$$S_2 = \upsilon t_2 = \sqrt{2aS_1} \cdot t_2.$$

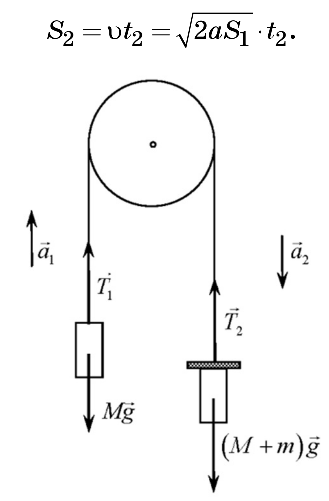


Рис. 2.1. Система грузов на блоке

Ускорение грузов выражается через пути равноускоренного S_1 и равномерного S_2 движения и через время равномерного движения t_2

$$a = \frac{S_2^2}{2S_1 t_2^2}. \qquad (2.8)$$

Найдем ту же величину из решения динамической задачи. Запишем второй закон Ньютона для системы двух тел массами M и $M+m$.

$$\begin{cases} M\vec{a}_1 = \vec{T}_1 + M\vec{g}, \\ (M+m)\vec{a}_2 = \vec{T}_2 + (M+m)\vec{g}. \end{cases} \qquad (2.9)$$

Спроектируем все векторы в этих уравнениях на вертикальное направление. Учитывая, что $T_1 = T_2 = T$ и $a_1 = a_2 = a$,

$$\begin{cases} Ma = T - Mg, \\ -(M+m)a = T - (M+m)g. \end{cases}$$

Вычитаем из первого уравнения второе и получаем:

$$(M + M + m)a = (-M + M + m)g; \quad (2M + m)a = mg.$$

Таким образом, ускорение системы грузов будет равно:

$$a = \frac{mg}{2M + m}. \qquad (2.10)$$

Подставляя это выражение в (2.7а) получим скорость, с которой заканчивается равноускоренное движение и начинается равномерное:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{mgS_1}{2M + m}}. \qquad (2.11)$$

Лабораторная установка

Внешний вид лабораторной установки приведен на рис. 2.2. На вертикальной стойке закреплен блок 1, через который проходит нить с большими грузами 2*а* и 2*б*. На правый груз 2*а* сверху может помещаться дополнительный небольшой грузик кольцо 3. Электромагнит 4 фиксирует начальное положение грузов при помощи

фрикционной муфты. На вертикальной стойке находятся три подвижных кронштейна 5, 6 и 7. Верхний кронштейн 5 имеет риску, по которой устанавливается низ большого груза. Для измерения расстояний на стойке нанесена миллиметровая шкала. Средний 6 и нижний 7 кронштейны снабжены фотоэлектрическими датчиками 8 и 9. Когда нижний край груза 2*а* пересекает оптическую ось верхнего фотодатчика 8, включается секундомер. Выключается он в тот момент, когда нижний край того же груза пересекает оптическую ось фотодатчика 9. Дополнительная полочка 10 на среднем кронштейне 6 снимает дополнительный грузик 3 с груза 2*а* в тот момент, когда последний пересекает оптическую ось датчика 8.

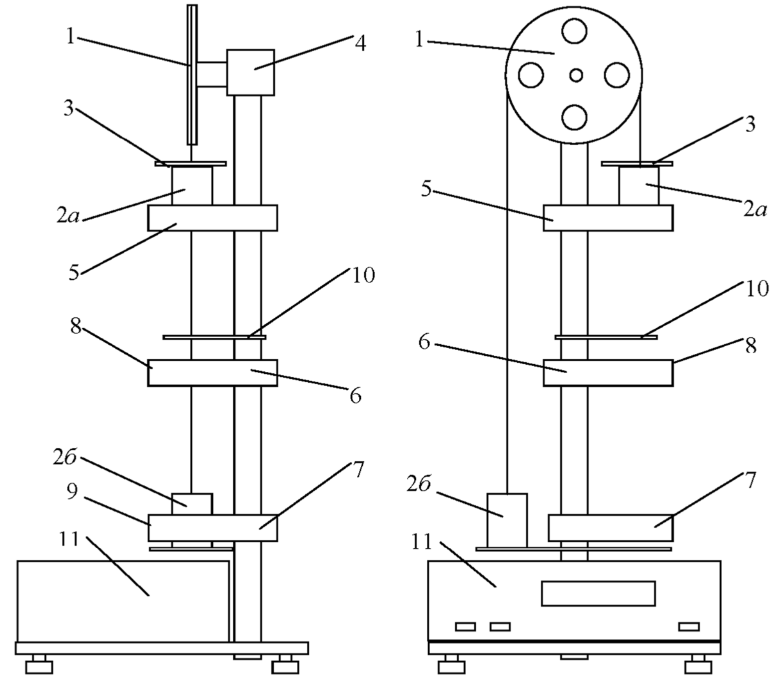


Рис. 2.2. Внешний вид лабораторной установки

На лицевой панели установки 11 имеются клавиши “Сеть”, “Пуск” и “Сброс”. Для проведения измерений нужно включить установку кнопкой “Сеть”, установить необходимые длины S_1

и S_2, зафиксировать начальное положение грузов 2*а*, 2*б* и установить груз 3. С нажатием кнопки “Пуск” грузы приходят в движение, поочередно срабатывают фотодатчики 8 и 9, на табло высвечивается время t_2. Нажатие кнопки “Сброс” обнуляет показания секундомера и приводит установку в режим готовности к следующему измерению.

Задания и порядок их выполнения

Перед выполнением лабораторной работы нужно ознакомиться с назначением кнопок, получить от преподавателя набор грузов и установить заданные пути равномерного и равноускоренного движений.

До начала измерений нужно установить стойку строго вертикально, чтобы грузы при своем движении не задевали средний и нижний кронштейны. Нужно убедиться, что в крайнем верхнем положении левого груза правый груз пересекает оптическую ось нижнего датчика.

Нужно проверить, одинаковые ли массы у грузов, полученных от преподавателя. Для этого грузы нужно повесить на блок, нажать кнопку «Сброс» и проверить, будут ли они в равновесии.

Необходимо обратить особое внимание на то, чтобы нижний край правого груза в верхнем положении находился точно на уровне риски, нанесенной на верхнем кронштейне.

Систематические погрешности обоих путей считать $\theta_S = 2$ мм, систематическую погрешность измеренного времени принять $\theta_t = 0{,}001$ с.

Задание 1. Стандартный опыт.

Установить необходимые длины S_1 и S_2. Правый груз зафиксировать на уровне риски, нанесенной на верхнем кронштейне. Нажать кнопку “Пуск” и после остановки груза перенести в протокол измерений время равномерного движения – t_2.

Задание 2. Изучение равномерного движения.

Необходимо убедиться, что вторую часть своего пути правый груз проходит с постоянной скоростью. Для этого нужно изучить зависимость пути S_2 от времени t_2. Если скорость груза постоянна, то эта зависимость на графике будет представлять собой прямую, проходящую через начало координат.

Нужно сделать не менее пяти измерений времени t_2 при неизменном расстоянии S_1 и различных S_2. В этом опыте следует *перемещать лишь нижний кронштейн* 7, оставляя два других неподвижными. В отчете нужно привести график зависимости $S_2(t_2)$ (см. рис. 2.3) дать заключение о том, является движение груза равномерным или нет, и найти скорость груза.

Задание 3. Изучение равноускоренного движения.

Необходимо убедиться, что первую часть своего пути грузы проходят с постоянным ускорением. Для этого нужно построить зависимость $(t_2)^{-2}$ от S_1 при неизменном пути S_2. Как следует из (2.8),

$$(t_2)^{-2} = 2a(S_2)^{-2} S_1. \quad (2.12)$$

Следовательно, изучаемая зависимость должна быть линейной и проходить через начало координат.

Нужно сделать не менее пяти измерений времени t_2 при неизменном расстоянии S_2 и различных S_1. При этих измерениях должен перемещаться верхний кронштейн5 , а средний 6 и нижний 7 кронштейны должны оставаться неподвижными. В отчете нужно привести график зависимости $(t_2)^{-2}$ от S_1 (см. рис. 2.4) и дать заключение о том, является движение груза равноускоренным или нет.

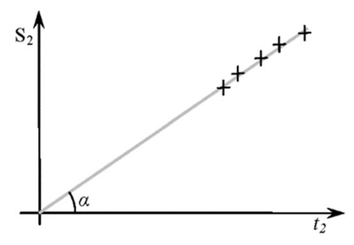


Рис. 2.3. Изучение равномерного движения

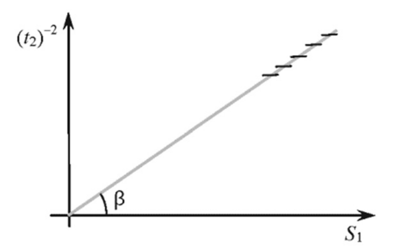


Рис. 2.4. Изучение равноускоренного движения

К следующим заданиям можно приступать лишь в случае, если установлено, что движение на участке S_1 является равноускоренным, а на участке S_2 – равномерным.

Задание 4. Определение ускорения грузов.

Ускорение можно найти двумя методами: статистической обработкой или графически. Следует воспользоваться тем методом, который укажет преподаватель.

При статистической обработке ускорения грузов рассчитать по формуле (2.8) для всех данных, полученных в заданиях 2 и 3.

При графической обработке зависимости $(t_2)^{-2}$ от S_1 сначала находится тангенс угла наклона прямой, а затем ускорение грузов:

$$a = 0{,}5S_2^2\text{tg}\beta. \quad (2.13)$$

При любом методе обработки нужно найти среднее значение ускорения, его случайную, систематическую и полную погрешности (см. пример 7 во вводной части настоящего пособия).

По формуле (2.10) нужно теоретически рассчитать ускорение, сравнить полученное значение с экспериментальным и дать аргументированное заключение о совпадении или несовпадении экспериментального и расчетного значений. В случае необходимости выдвинуть предположения о причинах наблюдающихся расхождений.

Задание 5. Определение скорости грузов.

Скорость грузов можно найти двумя методами: статистической обработкой или графически. Следует воспользоваться тем методом, который укажет преподаватель.

При статистической обработке для всех данных, полученных в задании 2, найти скорость равномерного движения грузов на участке пути S_2 по формуле

$$\upsilon = S_2/t_2. \quad (2.14)$$

Графически среднюю скорость можно найти по тангенсу угла α наклона прямой $S_2(t_2)$

$$\upsilon = \text{tg}\alpha. \quad (2.15)$$

При любом способе обработки необходимо найти среднее значение скорости, ее случайную, систематическую и полную погрешности.

По формуле (2.11) нужно теоретически рассчитать скорость, сравнить полученное значение с экспериментальным и дать аргументированное заключение о совпадении или несовпадении экспериментального и расчетного значений. В случае необходимости выдвинуть предположения о причинах наблюдающихся расхождений.

Все определяемые в настоящей работе величины являются неслучайными по своей природе. Случайные ошибки, возникающие при их измерениях, связаны с влиянием измерительных приборов на процесс измерения.

Контрольные вопросы

1. Что называется материальной точкой и что – абсолютно твердым телом?
2. Какое движение абсолютно твердого тела называется поступательным?
3. Как описывается движение материальной точки?
4. Чем отличается перемещение от пути?
5. Что называется средней и мгновенной скоростью?
6. Какое движение материальной точки называется равномерным и какое – равноускоренным?
7. Как изменится формула (2.10), если при ее выводе не пренебрегать силами трения оси блока?
8. Как изменится формула (2.10), если при ее выводе не пренебрегать моментом инерции блока?
9. Каким образом можно экспериментально убедиться в том, что движение грузов на втором участке пути равномерное?
10. Каким образом можно экспериментально убедиться в том, что движение грузов на первом участке пути равноускоренное?